

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

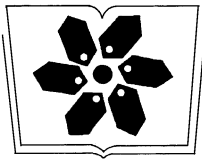
Acta Ecologica Sinica



第 32 卷 第 20 期 Vol.32 No.20 **2012**

中国生态学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 32 卷 第 20 期

2012 年 10 月 (半月刊)

目 次

太湖流域源头溪流氧化亚氮(N_2O)释放特征.....	袁淑方, 王为东 (6279)
闽江河口湿地植物枯落物立枯和倒伏分解主要元素动态.....	曾从盛, 张林海, 王天鹅, 等 (6289)
宁夏荒漠草原小叶锦鸡儿可培养内生细菌多样性及其分布特征.....	代金霞, 王玉炯 (6300)
陕西省栎黄枯叶蛾蛹的空间分布.....	章一巧, 宗世祥, 刘永华, 等 (6308)
模拟喀斯特生境条件下干旱胁迫对青冈栎苗木的影响.....	张中峰, 尤业明, 黄玉清, 等 (6318)
中国井冈山生态系统多样性.....	陈宝明, 林真光, 李 贞, 等 (6326)
鄂西南木林子常绿落叶阔叶混交林恢复过程中优势树种生态位动态.....	汤景明, 艾训儒, 易咏梅, 等 (6334)
不同增温处理对夏蜡梅光合特性和叶绿素荧光参数的影响	徐兴利, 金则新, 何维明, 等 (6343)
模拟长期大风对木本猪毛菜表观特征的影响	南 江, 赵晓英, 余保峰 (6354)
雷竹林土壤和叶片 N、P 化学计量特征对林地覆盖的响应	郭子武, 陈双林, 杨清平, 等 (6361)
利用树木年轮重建赣南地区 1890 年以来 2—3 月份温度的变化	曹受金, 曹福祥, 项文化 (6369)
川西亚高山草甸土壤呼吸的昼夜变化及其季节动态.....	胡宗达, 刘世荣, 史作民, 等 (6376)
火干扰对小兴安岭白桦沼泽和落叶松-苔草沼泽凋落物和土壤碳储量的影响	周文昌, 牟长城, 刘 夏, 等 (6387)
黄土丘陵区三种典型退耕还林地土壤固碳效应差异.....	佟小刚, 韩新辉, 吴发启, 等 (6396)
岩质公路边坡生态恢复土壤特性与植物多样性	潘树林, 辜 彬, 李家祥 (6404)
坡位对东灵山辽东栎林土壤微生物量的影响.....	张 地, 张育新, 曲来叶, 等 (6412)
太湖流域典型入湖港口景观格局对河流水质的影响.....	王 瑛, 张建锋, 陈光才, 等 (6422)
基于多角度基尼系数的江西省资源环境公平性研究	黄和平 (6431)
中国土地利用空间格局动态变化模拟——以规划情景为例	孙晓芳, 岳天祥, 范泽孟 (6440)
世界主要国家耕地动态变化及其影响因素	赵文武 (6452)
不同氮源下好氧反硝化菌 <i>Deffluibacter lusatiensis</i> str. DN7 的脱氮特性	肖继波, 江惠霞, 褚淑祎 (6463)
基于生态足迹方法的南京可持续发展研究.....	周 静, 管卫华 (6471)
基于投入产出方法的甘肃省水足迹及虚拟水贸易研究.....	蔡振华, 沈来新, 刘俊国, 等 (6481)
浦江县土壤碱解氮的空间变异与农户 N 投入的关联分析	方 斌, 吴金凤, 倪绍祥 (6489)
长江河口潮间带盐沼植被分布区及邻近光滩鱼类组成特征	童春富 (6501)
深圳湾不同生境湿地大型底栖动物次级生产力的比较研究.....	周福芳, 史秀华, 邱国玉, 等 (6511)
灰斑古毒蛾口腔反吐物诱导沙冬青细胞 Ca^{2+} 内流及 H_2O_2 积累	高海波, 张淑静, 沈应柏 (6520)
濒危物种金斑喙凤蝶的行为特征及其对生境的适应性.....	曾菊平, 周善义, 丁 健, 等 (6527)
细叶榕榕小蜂群落结构及动态变化.....	吴文珊, 张彦杰, 李凤玉, 等 (6535)
专论与综述	
流域生态系统补偿机制研究进展	张志强, 程 莉, 尚海洋, 等 (6543)
可持续消费的内涵及研究进展——产业生态学视角	刘晶茹, 刘瑞权, 姚 亮 (6553)
工业水足迹评价与应用.....	贾 佳, 严 岩, 王辰星, 等 (6558)
矿区生态风险评价研究述评.....	潘雅婧, 王仰麟, 彭 建, 等 (6566)
研究简报	
围封条件下荒漠草原 4 种典型植物群落枯落物枯落量及其蓄积动态.....	李学斌, 陈 林, 张硕新, 等 (6575)
密度和种植方式对夏玉米酶活性和产量的影响.....	李洪岐, 蔺海明, 梁书荣, 等 (6584)
期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 312 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 35 * 2012-10	

封面图说: 草丛中的朱鹮——朱鹮有着鸟中“东方宝石”之称。洁白的羽毛, 艳红的头冠和黑色的长嘴, 加上细长的双脚, 朱鹮历来被日本皇室视为圣鸟。20 世纪前朱鹮在中国东部、日本、俄罗斯、朝鲜等地曾有较广泛地分布, 由于环境恶化等因素导致种群数量急剧下降, 至 20 世纪 70 年代野外已认为无踪影。1981 年 5 月, 中国鸟类学家经多年考察, 在陕西省洋县重新发现朱鹮种群, 一共只有 7 只, 也是世界上仅存的种群。此后对朱鹮的保护和科学研究做了大量工作, 并于 1989 年在世界首次人工孵化成功。

彩图提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201203050294

李洪岐, 蔺海明, 梁书荣, 赵会杰, 王俊忠. 密度和种植方式对夏玉米酶活性和产量的影响. 生态学报, 2012, 32(20): 6584-6590.

Li H Q, Lin H M, Liang S R, Zhao H J, Wang J Z. Effects of planting densities and modes on activities of some enzymes and yield in summer maize. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(20): 6584-6590.

密度和种植方式对夏玉米酶活性和产量的影响

李洪岐^{1,2}, 蔺海明^{1,*}, 梁书荣³, 赵会杰³, 王俊忠⁴

(1. 甘肃农业大学农学院, 兰州 730070; 2. 河南省农学会, 郑州 450002;

3. 河南农业大学生命科学学院, 郑州 450002; 4. 河南省土壤肥料站, 郑州 450002)

摘要:在豫北灌区的生产条件下,以郑单 958 和浚单 20 为试验材料,研究了不同密度和种植方式对夏玉米碳氮关键酶的影响。结果表明:生育后期夏玉米叶片硝酸还原酶(NR)、谷氨酰胺合成酶(GS)和籽粒蔗糖磷酸合成酶(PS)、蔗糖合成酶(SS)活性均呈先升高后降低的变化趋势,叶片 NR 和 GS 活性峰值出现在吐丝期,籽粒 PS 和 SS 活性峰值出现在灌浆后 15d。基因型、密度和种植方式对夏玉米生育后期叶片 NR、GS 和籽粒 PS、SS 活性均有显著影响,而 3 因素间总体上没有显著的互作效应。郑单 958 生育后期叶片 NR、GS 和籽粒 PS、SS 活性均显著高于浚单 20,分别提高 5.02%、7.40%、6.25% 和 4.43%。在 6.75—9.00 万株 hm^2 的范围内,随着密度的增大,夏玉米生育后期叶片 NR、GS 和籽粒 PS、SS 活性显著降低。与 60cm 等行距种植方式相比,80cm-40cm 宽窄行种植方式下夏玉米生育后期叶片 NR、GS 和籽粒 PS、SS 活性均显著提高,分别提高 6.23%、9.25%、6.87% 和 2.84%。在采用宽窄行种植、密度为 8.25 万株 hm^2 时,产量最高。

关键词:夏玉米;密度;种植方式;酶活性;产量

Effects of planting densities and modes on activities of some enzymes and yield in summer maize

LI Hongqi^{1,2}, LIN Haiming^{1,*}, LIANG Shurong³, ZHAO Huijie³, WANG Junzhong⁴

1 College of Agronomy Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070

2 Henan Association of Agricultural Science Societies, Zhengzhou 450002

3 College of Life Sciences, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002

4 Soil and Fertilizer Station of Henan Province Zhengzhou 450002

Abstract: Effects of different planting densities and modes on activities of key enzymes related to carbon-nitrogen metabolism in summer maize in two cultivars, Zhengdan 958 and Xundan 20, were studied under the condition of Northern Henan Province. The results showed that the activities of nitrate reductase (NR), glutamine synthetase (GS), sucrose phosphate synthetase (SPS) and sucrose synthetase (SS) in leaves increased first and decreased later during tasseling and silking stages. The activities of NR and GS in leaves reached the peak at silking stage, and the maximum of activities of SPS and SS in grains occurred at 15d after filling. Genotype, density and planting mode had significant effects on the activities of NR, GS in leaves and SPS, SS in grains during the later-growth period, but the interaction between them was indistinctive. The activities of NR, GS in leaves and SPS, SS in grains of Zhengdan 958 were higher than those of Xundan 20 (5.02%, 7.40%, 6.25% and 4.43% increases, respectively) during the later-growth period. Within the range of 67500—90000 plants per hm^2 , the activities of these enzymes decreased significantly with the increasing of planting density. A comparison between two planting modes indicated that activities of NR, GS in leaves and SPS, SS in grains of

基金项目:国家粮食丰产科技工程(2006BAD02A07)

收稿日期:2012-03-05; 修订日期:2012-07-02

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: linhm@gsau.edu.cn

wide-narrow row mode were higher than those of equidistant row mode (6.23% , 9.25% , 6.87% and 2.84% increases, respectively). The yield reached highest in the test plots with 82 500 plants per hm^2 and wide-narrow row mode.

Key Words: summer maize; population; planting mode; activities of key enzymes; yield

玉米(*Zea mays* L.)为 C_4 植物,是一种高光效作物^[1],碳氮代谢作为作物体内最重要的两大代谢过程,两者的协调不仅影响作物的生长发育,而且很大程度上决定着产量^[2]。吕丽华等研究表明过高或过低的种植密度都会影响叶片的光合速率、碳素和氮素的合成、运转,导致群体发育不良^[3];杨吉顺等研究表明在较高密度条件下,80 cm-40 cm 的宽窄行配置有助于扩大光合面积、增加穗位叶层的光合有效辐射、提高群体光合速率、减少群体呼吸消耗,从而提高籽粒产量^[4]。因此,通过调整玉米的种植方式和密度来达到高产目的是玉米生产中切实可行的办法。

碳氮代谢关键酶活性是反映作物碳氮代谢协调程度及作物产量形成能力的关键指标。种植密度对夏玉米产量的影响及影响机制均有大量的研究^[5],但种植方式和密度对夏玉米碳氮代谢关键酶活性的研究较少,尚不能总结出一定的规律。为了进一步探索夏玉米高产潜力和增产途径,分类指导生产,本试验采用种植方式、密度和品种三因素试验对夏玉米碳氮代谢关键酶活性进行研究,旨在进一步了解不同群体结构下碳氮代谢关键酶活性动态变化规律,为建立合理的群体结构提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 试验地概况

试验选用郑单 958 和浚单 20 为试验材料,于 2010 年在河南省温县平安科技公司试验田进行,土壤为中壤质潮土,耕层(0—20 cm)有机质含量 20.87g/kg、碱解氮 122.53mg/kg、速效磷 36.79 mg/kg、速效钾 97.11 mg/kg,全氮 1.601 mg/kg,全磷 0.68 mg/kg,pH 值为 6.9。

1.2 试验设计

采用三因素裂区设计,品种为主区,A(A₁:郑单 958;A₂:浚单 20);种植方式为副区,B[B₁:等行距(60cm);B₂:宽窄行距(80 cm-40 cm)];密度为副副区,C(C₁:6.75 万株/ hm^2 、C₂:7.50 万株/ hm^2 、C₃:8.25 万株/ hm^2 、C₄:9.0 万株/ hm^2),试验设 16 个处理,10 行区,小区面积 48 m^2 (8m×6m)。6 月 9 日播种,10 月 1 日收获,4 次重复。按高产田要求进行统一的水肥管理:氯化钾(210 kg/ hm^2),和施磷酸二铵(330kg/ hm^2) 在播种时作底肥一次施入;尿素 30% (111 kg/ hm^2) 苗期施用,70% (259 kg/ hm^2) 大喇叭口期追施。适时灌溉。

1.3 测定项目及方法

分别在玉米抽雄期、吐丝期、灌浆期、成熟期,叶片样品取穗位叶,测定硝酸还原酶(NR)活性和谷氨酰胺合成酶(GS)活性;分别在灌浆、灌浆后 10d、20d、30d,籽粒样品取雌穗中部籽粒,测定蔗糖磷酸合成酶(SPS)、蔗糖合成酶(SS)活性。

1.3.1 硝酸还原酶(NR)活性的测定

采用活体法^[6],以单位时间内产生的亚硝酸盐(NO_2^-)的量表示酶活性。

1.3.2 谷氨酰胺合成酶(GS)活性的测定

参照王学奎的方法^[6],以 540 nm 处吸光度的上升值间接表示酶活性,粗酶液中的蛋白质含量测定用考马斯亮蓝 G-250 染色法^[7]。

1.3.3 蔗糖磷酸合成酶(SPS)、蔗糖合成酶(SS)活性的测定

酶液提取参照於新建的方法^[8]并稍加改进,将 0.3g 预冷的玉米籽粒(或去主叶脉的玉米叶片)置于预冷的研钵中,加 3mL 缓冲液 A(100mmol/L Tris-HCl pH 7.0、10mmol/L MgCl_2 、2mmol/L EDTA-Na_2 、20 mmol/L 巯基乙醇、2% 乙二醇),快速研磨,取上清液在 4℃13000 r/min 离心 30 min,所得上清液用于酶活性测定。

SPS 活性的测定:在蔗糖合成酶反应体系中用 10mmol/L F-6-P 取代 10mmol/L 果糖,其余均按蔗糖合成

酶的方法。

SS 活性的测定: 在总体积 0. 15mL 的反应介质 (含 50 mmol/L Tris-HCL pH7. 0、10mmol/L MgCl₂、10mmol/L 果糖、3mmol/LUDPG) 中, 加入 100μL 酶液, 30℃ 水浴中反应 10min, 加入 2mol/L NaOH 0. 05mL, 沸水煮 10min, 流水冷却, 加 1. 7mL 蒸馏水, 再加 1. 5mL 浓盐酸和 0. 5mL 0. 1% 的间苯二酚, 摇匀后置于 80℃ 水浴保温 10min, 冷却后于 480nm 处比色测定蔗糖的生成。

1.3.4 产量指标测定

收获玉米时, 计产区中取每小区中间两行进行测产, 于室内随机选取 10 穗晾晒至籽粒含水量为国标 14% 时测定穗粒重。

1.3.5 数据分析

数据通过 DPS(3. 01) 软件进行 SSR 检验和 Duncan 多重比较法 ($P<0. 05$) 进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 密度和种植方式对不同基因型玉米叶片硝酸还原酶(NR)活性的影响

在夏玉米生育后期, 叶片 NR 活性呈先升高后降低的变化趋势, 峰值出现在吐丝期, 且基因型、密度和种植方式对夏玉米叶片 NR 活性均有显著影响 (表 1)。郑单 958 叶片 NR 活性显著高于浚单 20, 在整个生育后期平均水平高 5. 02%。且在吐丝期以后, 随着生育进程, 郑单 958 叶片 NR 活性降低速率低于浚单 20, 表明在生育后期郑单 958 具有较强的叶片硝态氮转化能力, 能较好地维持叶片正常生长和发挥正常的光合能力。在 $6. 75\times 10^4$ — $9. 00\times 10^4$ 株/hm² 的范围内, 随着密度的增大, 两种夏玉米在整个生育后期叶片 NR 活性都显著降低。在对籽粒形成和发育影响显著的吐丝期和灌浆期, 同品种和同种植方式条件下, $9. 00\times 10^4$ 株/hm² 比 $6. 75\times 10^4$ 株/hm² 叶片 NR 活性降低均大于 17%, 高密集型玉米种植中, 密度的增加对叶片的硝态氮转换能力影响较大。在同等条件下 80cm-40cm 宽窄行种植方式下夏玉米生育后期叶片 NR 活性均高于 60cm 等行距种植方式, 表明宽窄行种植有利于提高夏玉米叶片硝态氮转化能力, 有利于植物正常生长。

从表 1 还可以看出, 除了吐丝期基因型和种植方式之间互作显著外, 3 因素之间没有显著的互作效应。

表 1 密度和种植方式对不同基因型玉米叶片硝酸还原酶活性的影响

Table 1 Effects of density and planting mode on nitrate reductase(NR) activity in leaf of different maize genotypes (μg·g ⁻¹ 鲜重·h ⁻¹)								
密度 Density	抽雄期 Tasseling stage		吐丝期 Silking stage		灌浆期 Filling stage		成熟期 Mature stage	
	B1	B2	B1	B2	B1	B2	B1	B2
A1								
C1	43. 03±1. 20	46. 73±0. 91	77. 49±0. 97	81. 92±0. 96	37. 90±2. 36	40. 60±0. 32	25. 15±1. 04	28. 30±1. 04
C2	42. 66±1. 40	45. 91±1. 20	76. 04±1. 06	80. 46±0. 99	37. 83±1. 43	39. 18±0. 90	24. 62±1. 76	27. 88±2. 68
C3	41. 83±0. 61	45. 09±1. 33	75. 12±1. 04	79. 46±1. 68	36. 84±1. 43	38. 52±0. 98	23. 76±0. 97	26. 24±1. 03
C4	33. 28±1. 20	37. 09±1. 89	62. 68±2. 02	66. 23±1. 06	31. 10±0. 90	33. 18±0. 90	22. 26±1. 72	24. 82±1. 58
A2								
C1	41. 83±0. 41	44. 35±1. 17	75. 57±0. 99	78. 33±0. 52	36. 65±0. 27	38. 14±0. 27	24. 61±0. 87	25. 62±2. 57
C2	40. 19±1. 48	43. 80±0. 91	74. 01±3. 16	77. 67±1. 69	35. 38±0. 70	37. 40±0. 90	23. 68±1. 03	24. 76±1. 10
C3	39. 37±1. 33	42. 01±1. 20	73. 95±0. 59	76. 83±1. 06	34. 77±1. 85	36. 65±0. 90	22. 71±1. 01	23. 89±1. 85
C4	31. 20±2. 32	34. 14±1. 80	60. 73±1. 06	61. 76±1. 06	28. 45±0. 90	31. 45±0. 74	22. 00±0. 014	22. 86±1. 77
显著性 Significance								
A	* *		* *		*		*	
B	* *		* *		* *		*	
C	* *		* *		* *		* *	
A×B	NS		*		NS		NS	
A×C	NS		NS		NS		NS	
B×C	NS		NS		NS		NS	
A×B×C	NS		NS		NS		NS	

表中数据为所测平均值±标准误差; NS 表示 $\alpha=0. 05$ 水平上差异不显著; * 表示 $\alpha=0. 05$ 水平上差异显著; * * 表示 $\alpha=0. 01$ 水平上差异显著

2.2 密度和种植方式对不同基因型玉米叶片谷氨酰胺合成酶(GS)活性的影响

在夏玉米生育后期,叶片 GS 活性呈先升高后降低的变化趋势,峰值出现在吐丝期。基因型、密度和种植方式对夏玉米叶片 GS 活性均有显著影响,但 3 因素之间没有显著的互作效应(表 2)。郑单 958 叶片 GS 活性显著高于浚单 20,在整个生育后期平均水平高 7.40%,表明在生育后期郑单 958 具有较强的叶片氮代谢能力。在 6.75×10^4 — 9.00×10^4 株/hm² 的范围内,同一时期,同种植方式对比,随着密度的增大,夏玉米生育后期叶片 GS 活性显著降低,相比 6.75 万株/hm²,9.00 万株/hm² 处理下夏玉米生育后期叶片 GS 活性平均降低了 11.92%。同等条件下,相比 60cm 等行距种植方式,80cm-40cm 宽窄行种植方式下夏玉米生育后期叶片 GS 活性较高,总体水平提高了 9.25%,表明宽窄行种植有利于提高夏玉米叶片氮代谢能力。

表 2 密度和种植方式对不同基因型玉米叶片谷氨酰胺合成酶活性的影响

Table 2 Effects of density and planting mode on glutamine synthetase (GS) activity in leaf of different maize genotypes ($A \cdot mg^{-1} \cdot h^{-1}$)

密度 Density	抽雄期 Tasseling stage		吐丝期 Silking stage		灌浆期 Filling stage		成熟期 Mature stage	
	B1	B2	B1	B2	B1	B2	B1	B2
A1								
C1	1.57±0.10	1.65±0.06	1.90±0.08	2.00±0.08	1.37±0.03	1.55±0.23	0.25±0.01	0.35±0.02
C2	1.55±0.13	1.64±0.13	1.88±0.01	1.98±0.05	1.33±0.03	1.51±0.09	0.24±0.01	0.33±0.01
C3	1.52±0.12	1.60±0.04	1.78±0.05	1.96±0.02	1.29±0.02	1.46±0.08	0.22±0.02	0.31±0.01
C4	1.48±0.11	1.55±0.09	1.68±0.03	1.86±0.03	1.15±0.02	1.32±0.02	0.17±0.02	0.24±0.01
A2								
C1	1.46±0.08	1.48±0.10	1.82±0.05	1.91±0.06	1.24±0.06	1.38±0.05	0.21±0.02	0.32±0.02
C2	1.44±0.11	1.48±0.04	1.80±0.03	1.90±0.04	1.22±0.13	1.36±0.12	0.21±0.01	0.30±0.02
C3	1.40±0.10	1.47±0.11	1.78±0.01	1.87±0.04	1.19±0.08	1.34±0.11	0.19±0.03	0.29±0.01
C4	1.32±0.06	1.42±0.11	1.68±0.04	1.78±0.04	1.06±0.04	1.21±0.12	0.14±0.02	0.22±0.03
显著性 Significance								
A	* *		* *		*		*	
B	* *		* *		* *		* *	
C	* *		* *		* *		* *	
A×B	NS		NS		NS		NS	
A×C	NS		NS		NS		NS	
B×C	NS		NS		NS		NS	
A×B×C	NS		NS		NS		NS	

2.3 密度和种植方式对不同基因型玉米籽粒蔗糖磷酸合成酶(SPS)活性的影响

夏玉米从灌浆期至成熟期,籽粒 SPS 活性逐渐升高,到灌浆后 15d 达到峰值,而后迅速降低。基因型、密度和种植方式对夏玉米籽粒 SPS 活性均有显著影响,但 3 因素之间没有显著的互作效应(表 3)。郑单 958 籽粒 SPS 活性显著高于浚单 20,平均水平高 6.25%,表明郑单 958 具有较强的合成蔗糖能力。在 6.75×10^4 — 9.00×10^4 株/hm² 的范围内,同一时期,同等种植方式下,随着密度的增大,夏玉米籽粒 SPS 活性显著降低,相比 6.75 万株/hm²,9.00 万株/hm² 处理下夏玉米籽粒 SPS 活性平均降低了 14.48%。相比 60cm 等行距种植方式,80cm-40cm 宽窄行种植方式下夏玉米籽粒 SPS 活性较高,总体水平提高了 6.87%,表明宽窄行种植有利于提高夏玉米籽粒蔗糖合成能力。

2.4 密度和种植方式对不同基因型玉米籽粒蔗糖合成酶(SS)活性的影响

夏玉米从灌浆期至成熟,籽粒 SS 活性逐渐升高,到灌浆后 10d 达到峰值,而后迅速降低。基因型、密度和种植方式对夏玉米籽粒 SS 活性均有显著影响,但 3 因素之间没有显著的互作效应(表 4)。同等条件下,郑单 958 籽粒 SS 活性均高于浚单 20,平均水平高 4.43%,表明郑单 958 具有较强的蔗糖降解能力。在 6.75×10^4 — 9.00×10^4 株/hm² 的范围内,同一时期,同等种植方式下,随着密度的增大,夏玉米籽粒 SS 活性显著降低,相比 6.75×10^4 株/hm², 9.00×10^4 株/hm² 处理下夏玉米籽粒 SS 活性平均降低了 16.65%。同等条件下,相比 60cm 等行距种植方式,80cm-40cm 宽窄行种植方式下夏玉米籽粒 SS 活性均较高,总体提高了 2.84%,

表明宽窄行种植有利于提高夏玉米籽粒蔗糖降解能力。

表 3 密度和种植方式对不同基因型玉米籽粒蔗糖磷酸合成酶活性的影响($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 鲜重 $\cdot\text{h}^{-1}$)

Table 3 Effects of density and planting mode on sources phosphate synthetase (SPS) activity in grain of different maize genotypes

密度 Density	0DAF		10DAF		20DAF		30DAF	
	B1	B2	B1	B2	B1	B2	B1	B2
A1								
C1	113.77±4.31	123.63±4.31	188.05±5.02	198.33±4.74	106.92±4.66	112.20±1.44	48.72±0.41	54.18±0.29
C2	112.71±1.78	122.57±1.77	187.28±1.15	197.56±0.82	104.64±4.94	110.92±2.35	48.15±0.82	53.94±0.82
C3	111.18±4.34	122.04±4.89	187.60±4.90	197.21±5.20	102.95±4.94	108.23±0.62	47.30±0.32	52.76±1.26
C4	92.28±1.78	103.14±2.46	173.39±5.76	177.00±2.19	92.38±5.10	98.99±0.92	40.66±1.26	45.78±1.83
A2								
C1	107.97±2.68	113.16±5.13	178.86±3.06	188.80±2.68	99.70±1.12	108.64±1.06	44.88±1.24	49.00±0.29
C2	105.58±4.89	111.10±1.78	178.43±4.63	188.71±2.36	97.42±1.54	106.36±3.08	43.31±1.72	48.43±0.89
C3	103.71±4.93	109.57±4.35	178.41±5.12	188.36±4.33	95.73±2.99	104.67±2.10	43.46±0.84	47.58±0.41
C4	90.81±1.78	97.01±3.95	162.53±1.15	171.81±1.15	87.16±1.99	94.77±3.95	36.48±2.37	40.27±0.60
显著性 Significance								
A	*		*		*		* *	
B	* *		* *		* *		* *	
C	* *		* *		* *		* *	
A×B	NS		NS		NS		NS	
A×C	NS		NS		NS		NS	
B×C	NS		NS		NS		NS	
A×B×C	NS		NS		NS		NS	

DAF 表示灌浆期后天数

表 4 密度和种植方式对不同基因型玉米籽粒蔗糖合成酶活性的影响($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 鲜重 $\cdot\text{h}^{-1}$)

Table 4 Effects of density and planting mode on sucrose synthetase (SS) activity in grain of different maize genotypes

密度 Density	0DAF		10DAF		20DAF		30DAF	
	B1	B2	B1	B2	B1	B2	B1	B2
A1								
C1	189.98±3.36	195.55±2.56	305.44±4.85	310.72±3.86	110.54±4.48	115.31±1.47	54.09±0.97	59.34±2.59
C2	186.66±1.71	191.54±4.18	304.24±3.54	310.47±3.09	108.60±5.05	113.06±3.68	52.18±1.94	57.66±2.37
C3	183.69±3.91	188.15±3.06	304.10±4.26	309.99±4.49	107.39±2.26	112.25±0.40	50.07±0.04	56.08±1.19
C4	167.34±5.22	169.58±4.27	278.07±1.89	282.23±2.97	90.83±5.31	95.12±4.60	35.12±1.46	40.37±2.63
A2								
C1	179.63±4.83	183.38±3.46	301.29±3.58	310.31±2.67	102.16±1.05	110.91±1.38	50.26±0.40	52.69±0.56
C2	177.91±2.77	180.76±0.82	299.88±4.38	305.80±1.23	100.09±6.52	108.29±2.42	48.73±2.65	51.56±2.72
C3	176.16±4.66	176.82±2.97	298.24±1.29	302.24±2.06	99.37±1.34	105.95±5.64	47.80±3.46	50.11±1.24
C4	156.82±4.75	162.21±4.11	274.07±4.18	272.93±2.52	83.54±2.00	80.87±2.35	32.00±1.44	34.91±2.30
显著性 Significance								
A	* *		*		*		* *	
B	* *		* *		*		* *	
C	* *		* *		* *		* *	
A×B	NS		NS		NS		NS	
A×C	NS		NS		NS		NS	
B×C	NS		NS		NS		NS	
A×B×C	NS		NS		NS		NS	

2.5 密度和种植方式对不同基因型玉米穗粒重与产量的影响

穗粒重是每棒玉米籽粒的净重,可以反映玉米单株的生产力,由图 1 可看出,随密度增加,两个品种在同等种植方式下,穗粒重逐渐降低;在同等密度条件下,宽窄行穗粒重高于等行距,在高密集型玉米种植中宽窄行的种植方式有利于玉米的籽粒发育,同等条件下对比两个品种,郑单 958 穗粒重高于浚单 20。

玉米产量是生产中追求的最终目的,由每公顷实际株数、穗粒数、千粒重三因素共同决定。由图 2 看出,随密度增加,产量在 8.25 万株/hm² 达到最大值;同等条件下,对比等行距的种植方式,两个品种在宽窄行的种植条件产量较高;同等条件下对比两个品种,郑单 958 高于浚单 20。

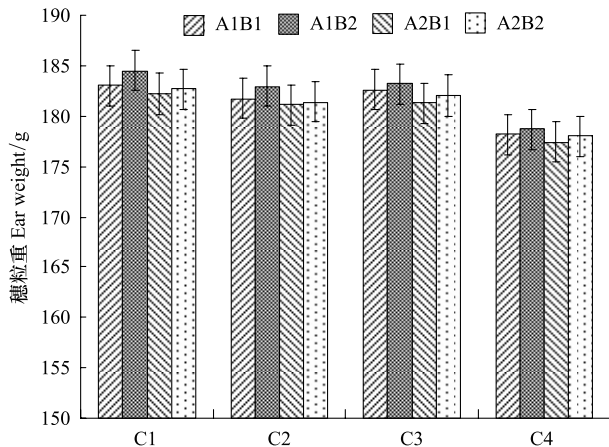


图 1 密度和种植方式对不同基因型玉米穗粒重的影响

Fig. 1 Effects of density and planting mode ear weight of different maize genotypes (g)

A1:郑单 958;A2:浚单 20;B1: 60 cm 等行距种植; B2: 80 cm-40 cm 宽窄行种植; C1: 种植密度 6.75 万株/hm²; C2: 种植密度 7.50 万株/hm²; C3: 种植密度 8.25 万株/hm²; C4: 种植密度 9.00 万株/hm²

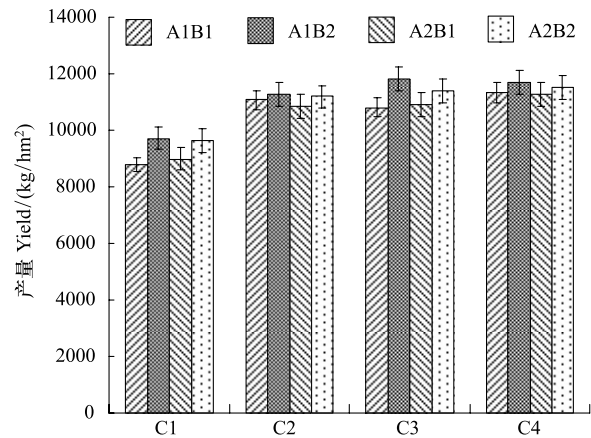


图 2 密度和种植方式对不同基因型玉米产量的影响

Fig. 2 Effects of density and planting mode yield of different maize genotypes (kg/hm²)

A1:郑单 958;A2:浚单 20;B1: 60 cm 等行距种植; B2: 80 cm-40 cm 宽窄行种植; C1: 种植密度 6.75 万株/hm²; C2: 种植密度 7.50 万株/hm²; C3: 种植密度 8.25 万株/hm²; C4: 种植密度 9.00 万株/hm²

3 讨论

3.1 硝酸还原酶(NR)保持较高的活性,有助于硝态氮的转化吸收,与产量显著正相关。谷氨酰胺合成酶(GS)是氨基酸合成和代谢的关键酶^[9],是植物氮代谢中一个重要的调节酶和限速酶,对植物生长发育、产量形成有重要作用,保持较高的活性,有助于硝态氮的转化吸收。本研究表明,夏玉米基因型、密度和种植方式对生育后期叶片 NR 和 GS 活性均具有显著影响,但三者之间没有显著的互作效应。适宜的密度和种植方式可显著提高夏玉米叶片 NR、GS 活性,促进氮素代谢。在本试验条件下,郑单 958 在低密度和宽窄行种植模式下,叶片 NR 和 GS 活性显著高于其它处理。本研究发现夏玉米叶片 NR 活性在吐丝期出现峰值,而后随着生育进程逐渐降低。单明珠等^[10]研究发现,不同生育时期玉米 NR 活性显著不同,其中拔节期最强,抽雄期急剧降低,到成熟期逐渐变弱;而赵宏伟等^[11]研究认为,玉米从拔节期以后硝酸还原酶活性增加比较迅速,孕穗期达到高峰,孕穗期到成熟期逐渐下降,抽雄期以后迅速下降。杨亮等^[12]研究表明,春玉米各生育时期叶片 GS 活性与籽粒产量呈正相关关系,七叶期和成熟期叶片 GS 活性与籽粒产量达到显著水平。本研究与前人研究结果的不同可能是由于试验材料不同造成的。

3.2 从叶片运往籽粒的蔗糖,首先分解,由蔗糖合成酶(SS)将其形成果糖(Fru)和 UDPG(尿苷二磷酸葡萄糖),才能进一步合成淀粉积累起来,促进籽粒生长发育^[13]。因而,有人认为籽粒中 SS 活性可作为库强度的指标^[10]。本试验结果表明,夏玉米基因型、种植密度和方式对籽粒 SS 和 SPS 活性均具有显著影响,但三者之间没有显著的互作效应。与对叶片氮代谢关键酶 NR 和 GS 活性的影响相比,不同密度对郑单 958 和浚单 20 两个玉米品种的影响较大的指标为 SS 和 SPS 活性,这与梁书荣等^[14]的研究结果一致。从对籽粒 SPS 活性和籽粒 SS 活性等指标的综合影响效应来看,密度的影响显著大于品种和种植方式,玉米籽粒碳代谢对密度的反应较敏感。在玉米籽粒建成过程中,其籽粒 SPS 活性和 SS 活性均呈现先增大再减小趋势。

3.3 叶片是玉米进行光合作用的主要器官,维持叶片较强的碳代谢是制造较多光合产物以满足籽粒产量形成的基础。蔗糖是光合作用早期形成的碳水化合物,也是叶片光合产物向各器官运输的主要形式。在叶片蔗

糖合成过程中,SPS 和 SS 是关键性调节酶。NR 和 GS 是玉米氮代谢的关键酶,维持叶片一定的氮素含量是叶片正常生长及光合功能正常发挥的基础。

随密度增加,玉米叶片遮光较早,荫蔽较严重,光照不足,功能期缩短,田间通风较差,湿度较高,适合微生物,害虫,杂草的生长,给玉米正常生长带来胁迫和危害,而直接影响玉米的叶片正常生长,进而影响叶片的光合作用,减少对玉米籽粒的能量供应,叶片 NR 和 GS,籽粒 SS 和 SPS 活性,穗粒重,均呈现降低趋势,而总体产量在 8.25 万株 hm^2 达到最大值,密度和单株产量互作达到最大效果。

同等条件下对比,宽窄行的种植方式,叶片 NR 和 GS,籽粒 SS 和 SPS 活性,穗粒重,产量均高于等行距,说明在高密集型玉米种植中,宽窄行有利于玉米进行碳氮代谢,维持叶片正常生长,保证籽粒正常能源供应,可能原因是,宽窄行条件下玉米保证通风,减少相互遮蔽,能减少病虫害,有利于玉米后期生长。

References:

- [1] Ma G S, Xue J Q, Lu H D, Zhang R H, Tai S J, Ren J H. Effects of planting density and nitrogen fertilization on population physiological indexes of summer maize (*Zea mays* L.) in Guanzhong irrigated zone. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(2): 661-668.
- [2] Shen L X, Wang P. Determination of C-N Metabolism Indices in Ear-leaf of Maize (*Zea mays* L.) *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2009, 25(24): 155-157.
- [3] Lv L H, Tao H B, Wang P, Liu M, Zhao M, Wang R Z. Carbon and Nitrogen Metabolism and Nitrogen Use Efficiency in Summer Maize under Different Planting Densities, *Acta Agronomica Sinica*, 2008, 34(4): 718-723.
- [4] Yang J S, Gao H Y, Liu P, Li G, Dong S T, Zhang J W, Wang J F. Effects of Planting Density and Row Spacing on Canopy Apparent Photosynthesis of High-Yield Summer Corn. *Acta Agronomica Sinica*, 2010, 36(7): 1226-1233.
- [5] Song B, Wu S L, Su L B. Study on quality index of high yield colony of different plant types of corn. *Journal of Mountain Agriculture and Biology*, 2001, 20(1): 1-8.
- [6] Zou Q. Guide in plant physiology testing. Beijing: China Agricultural Press, 2000: 56-59, 125-126.
- [7] Gao J F. Guide in plant physiology testing. Beijing: China Agricultural Press, 2005: 142-143.
- [8] Shanghai Plant Physiol. Inst., CAS, Shanghai Plant Physiol Association. Introduction to model plant physiological experiments. Beijing: Science Press, 1999, 126-127.
- [9] Lü S M, Qu X F, W L H, Liang S R, Wang J Z, Zhao H J. Effect of different biogas liquid amounts on source-sink metabolism and yield of summer maize. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010, 21(2): 4-9.
- [10] Shan M Z, Hu B D, Jiang F Y. Early study on the growth and decline law of nitrate reductase in maize leaves. *Shanxi Journal of Agricultural Sciences*, 1996, (1): 25-26.
- [11] Zhao H W, Ma F M, Li W H. Study on the effects of quantity of nitrogen on the activity of nitric-revivification enzyme, yield and quality of spring maize. *Journal of Northeast Agricultural University*, 2004, 35(3): 276-281.
- [12] Yang L, Zhao H W, Liu J H. Effects of different nitrogen application on GS activity and yield in different quality spring maize varieties. *Journal of Northeast Agricultural University*, 2007, 38(3): 320-324.
- [13] Pan Q M, Yu Z W, Wang Y F, Yu S L. Effects of Nitrogen Applying Stage on Both Sucrose Synthesis in Flag Leaves and Cleavage in Grains of Wheat. *Scientia Agriculture Sinica*, 2002, 35(7): 771-776.
- [14] Liang S R, Zhao H J, Li H Q, Wang J Z, Wang L H, Qu X F, Lü S M. Effects of Planting Densities and Modes on Developmental Characteristics of Summer Maize Populations in Two Varieties. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(7): 1702-1707.

参考文献:

- [1] 马国胜, 薛吉全, 路海东, 张仁和, 郜书静, 任建宏. 密度与氮肥对关中灌区夏玉米(*Zea mays* L.)群体光合生理指标的影响. *生态学报*, 2008, 28(2): 661-668.
- [2] 申丽霞, 王璞. 玉米穗位叶碳氮代谢的关键指标测定. *中国农学通报*, 2009, 25(24): 155-157.
- [3] 吕丽华, 陶洪斌, 王璞, 刘明, 赵明, 王润正. 种植密度对夏玉米碳氮代谢和氮利用率的影响. *作物学报*, 2008, 34(4): 718-723.
- [4] 杨吉顺, 高辉远, 刘鹏, 李耕, 董树亭, 张吉旺, 王敬锋. 种植密度和行距配置对超高产夏玉米群体光合特性的影响. *作物学报*, 2010, 36(7): 1226-1233.
- [5] 宋碧, 吴盛黎, 苏奎兵, 刘德凤, 李晔. 不同株型玉米高产群体的质量指标. *山地农业生物学报*, 2001, 20(1): 1-8.
- [6] 邹琦. 植物生理学实验指导. 北京: 中国农业出版社, 2000: 56-59, 125-126.
- [7] 高俊凤. 植物生理学实验指导. 北京: 高等教育出版社, 2005: 142-143.
- [8] 中国科学院上海植物生理研究所, 上海植物生理学会. 现代植物生理学实验指南. 北京: 科学出版社, 1999: 126-127.
- [9] 吕淑敏, 曲小菲, 王林华, 梁书荣, 王俊忠, 赵会杰. 不同沼液用量对夏玉米源库代谢关键酶及产量的影响. *应用生态学报*, 2010, 21(2): 4-9.
- [10] 单明珠, 胡必德, 蒋飞彦. 玉米叶片硝酸还原酶消长规律研究初报. *陕西农业科学*, 1996, (1): 25-26.
- [11] 赵宏伟, 马凤鸣, 李文华. 氮肥施用量对春玉米硝酸还原酶活性及产质量的影响. *东北农业大学学报*, 2004, 35(3): 276-281.
- [12] 杨亮, 赵宏伟, 刘锦红, 氮素用量对春玉米功能叶片谷氨酰胺合成酶活性及产量的影响. *东北农业大学学报*, 2007, 38(3): 320-324.
- [13] 潘庆民, 于振文, 王月福, 余松烈. 追氮时期对小麦旗叶中蔗糖合成与籽粒中蔗糖降解的影响. *中国农业科学*, 2002, 35(7): 771-776.
- [14] 梁书荣, 赵会杰, 李洪岐, 王俊忠, 王林华, 曲小菲, 吕淑敏. 密度、种植方式和品种对夏玉米群体发育特征的影响. *生态学报*, 2010, 30(7): 1702-1707.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 20 October, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

Characteristics of nitrous oxide (N ₂ O) emission from a headstream in the upper Taihu Lake Basin	YUAN Shufang, WANG Weidong (6279)
Nutrient dynamics of the litters during standing and sediment surface decay in the Min River estuarine marsh	ZENG Congsheng, ZHANG Linhai, WANG Tian'e, et al (6289)
Diversity and distribution of endophytic bacteria isolated from <i>Caragana microphylla</i> grown in desert grassland in Ningxia	DAI Jinxia, WANG Yujiong (6300)
Spatial distribution of <i>Trabala vishnou gigantina</i> Yang pupae in Shaanxi Province, China	ZHANG Yiqiao, ZONG Shixiang, LIU Yonghua, et al (6308)
Effects of drought stress on <i>Cyclobalanopsis glauca</i> seedlings under simulating karst environment condition	ZHANG Zhongfeng, YOU Yeming, HUANG Yuqing, et al (6318)
Ecosystem diversity in Jinggangshan area, China	CHEN Baoming, LIN Zhengguang, LI Zhen, et al (6326)
Niche dynamics during restoration process for the dominant tree species in montane mixed evergreen and deciduous broadleaved forests at Mulinzi of southwest Hubei	TANG Jingming, AI Xuenru, YI Yongmei, et al (6334)
Effects of different day/night warming on the photosynthetic characteristics and chlorophyll fluorescence parameters of <i>Sinocalycanthus chinensis</i> seedlings	XU Xingli, JIN Zexin, HE Weiming, et al (6343)
The effect of simulated chronic high wind on the phenotype of <i>Salsola arbuscula</i>	NAN Jiang, ZHAO Xiaoying, YU Baofeng (6354)
Responses of N and P stoichiometry on mulching management in the stand of <i>Phyllostachys praecox</i>	GUO Ziwu, CHEN Shuanglin, YANG Qingping, et al (6361)
Tree-ring-based reconstruction of the temperature variations in February and March since 1890 AD in southern Jiangxi Province, China	CAO Shoujin, CAO Fuxiang, XIANG Wenhua (6369)
Diel variations and seasonal dynamics of soil respirations in subalpine meadow in western Sichuan Province, China	HU Zongda, LIU Shirong, SHI Zuomin, et al (6376)
Effects of fire disturbance on litter mass and soil carbon storage of <i>Betula platyphylla</i> and <i>Larix gmelinii</i> - <i>Carex schmidtii</i> swamps in the Xiaoxing'an Mountains of Northeast China	ZHOU Wenchang, MU Changcheng, LIU Xia, et al (6387)
Variance analysis of soil carbon sequestration under three typical forest lands converted from farmland in a Loess Hilly Area	TONG Xiaogang, HAN Xinhui, WU Faqi, et al (6396)
Soil-property and plant diversity of highway rocky slopes	PAN Shulin, GU Bin, LI Jiaxiang (6404)
Effects of slope position on soil microbial biomass of <i>Quercus liaotungensis</i> forest in Dongling Mountain	ZHANG Di, ZHANG Yuxin, QU Laiye, et al (6412)
Responses of water quality to landscape pattern in Taihu watershed: case study of 3 typical streams in Yixing	WANG Ying, ZHANG Jianfeng, CHEN Guangcai, et al (6422)
Study on the fairness of resource-environment system of Jiangxi Province based on different methods of Gini coefficient	HUANG Heping (6431)
Simulation of the spatial pattern of land use change in China: the case of planned development scenario	SUN Xiaofang, YUE Tianxiang, FAN Zemeng (6440)
Arable land change dynamics and their driving forces for the major countries of the world	ZHAO Wenwu (6452)
Denitrification characteristics of an aerobic denitrifying bacterium <i>Deffluibacter lusatiensis</i> str. DN7 using different sources of nitrogen	XIAO Jibo, JIANG Huixia, CHU Shuyi (6463)
Study on sustainable development in nanjing based on ecological footprint model	ZHOU Jing, GUAN Weihua (6471)
Applying input-output analysis method for calculation of water footprint and virtual water trade in Gansu Province	CAI Zhenhua, SHEN Laixin, LIU Junguo, et al (6481)
Correlation analysis of spatial variability of Soil available nitrogen and household nitrogen inputs at Pujiang County	FANG Bin, WU Jinfeng, NI Shaoxiang (6489)
Characteristics of the fish assemblages in the intertidal salt marsh zone and adjacent mudflat in the Yangtze Estuary	TONG Chunfu (6501)
A comparison study on the secondary production of macrobenthos in different wetland habitats in Shenzhen Bay	ZHOU Fufang, SHI Xiuhua, QIU Guoyu, et al (6511)
Regurgitant from <i>Orgyia ericae</i> Germar induces calcium influx and accumulation of hydrogen peroxide in <i>Ammopiptanthus mongolicus</i> (Maxim. ex Kom.) Cheng f. cells	GAO Haibo, ZHANG Shujing, SHEN Yingbai (6520)
Behavior characteristics and habitat adaptabilities of the endangered butterfly <i>Teinopalpus aureus</i> in Mount Dayao	ZENG Juping, ZHOU Shanyi, DING Jian, et al (6527)
Community structure and dynamics of fig wasps in syconia of <i>Ficus microcarpa</i> Linn. f. in Fuzhou	WU Wenshan, ZHANG Yanjie, LI Fengyu, et al (6535)
Review and Monograph	
Review and trend of eco-compensation mechanism on river basin	ZHANG Zhiqiang, CHENG Li, SHANG Haiyang, et al (6543)
Definition and research progress of sustainable consumption: from industrial ecology view	LIU Jingru, LIU Ruiquan, YAO Liang (6553)
The estimation and application of the water footprint in industrial processes	JIA Jia, YAN Yan, WANG Chenxing, et al (6558)
Research progress in ecological risk assessment of mining area	PAN Yajing, WANG Yanglin, PENG Jian, et al (6566)
Scientific Note	
Litter amount and its dynamic change of four typical plant community under the fenced condition in desert steppe	LI Xuebin, CHEN Lin, ZHANG Shuoxin, et al (6575)
Effects of planting densities and modes on activities of some enzymes and yield in summer maize	LI Hongqi, LIN Haiming, LIANG Shurong, et al (6584)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的生态学专业性高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 32 卷 第 20 期 (2012 年 10 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 20 (October, 2012)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:1000717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元